

# FARKLI MALZEMELERLE ÜRETİLEN PENCERE TİPLERİNİN ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ VE ENERJİ ETKİN PENCERE SEÇİMİ

**İdil AYÇAM**  
**Gönül Sancar UTKUTUĞ**

## ÖZET

Pencerelerin enerji etkin olması, iç iklimsel konfor koşullarının sürekliliği ve binanın enerji performansı açısından önemlidir. Pencerelerin tasarımı ve malzeme seçimindeki hatalar binanın yıllık ısıtma, soğutma yüklerini artırarak iç iklimsel konfor koşullarını zedelemekte, günışığından yararlanma düzeyini düşürmektedir. Çalışmada öncelikle ısı performans göstergeleri tanımlanacak, sonraki aşamada yıllık ısıtma, soğutma yüklerine, içsel ısı kazançlarının düzeyine göre sınıflandırılan farklı bina tiplerine uygun enerji etkin pencere ve bileşen seçenekleri tartışılacaktır.

## 1. GİRİŞ; 21. YY.'DA BİNA KABUĞU TASARIMINDA DEĞİŞEN KRİTERLER ÇERÇEVESİNDE ŞEFFAF YÜZEYLER

Bina kabuğu, vücudumuzu saran deri tabakası gibi, nisbeten ince bir doku vasıtası ile çok sayıda ve önemli görevi bir arada yürütmek zorundadır. Kabuk, kendini oluşturan katmanların ısı, ışık, su buharı, hava, ses geçişine gösterdiği sınırlayıcı veya filtre edici tepkiler oranında etkinlik gösterir.

Gelecek bin yıl içinde “sürdürülebilir çevreler” oluşturmanın hedeflendiği bir mimarlık ortamında, bina kabuğu anlayışı da mimari tasarımda olduğu gibi süratle değişmektedir. Kabuk geleneksel anlamda iç-dış ortam arasında sınırlayıcı bir bileşen olmaktan çok öte fonksiyonlar yüklenmeye başlamıştır. Atmosferik koşulların iç ortamlar yararına süzülerek yumuşatılması açısından dinamik ve hatta giderek akıllı filtreler olarak tasarlanmaya başlayan bina kabuğunun şeffaf yüzeyleri de bu değişimde önemli görevler üstlenmeye başlamıştır.

Binanın her bileşen ve alt sisteminin tek başına değil, dahil olduğu daha büyük bir bütünün bir parçası olarak çalıştığı ve bütünün performansını etkilediğinin bilindiği günümüzde, opak ve şeffaf bileşenleri ile kabuğun bina performansına etkisi de kavranmıştır. Bina kabuğunun manzara, doğal aydınlatma ve havalandırma açısından vazgeçilmez bileşenleri olan şeffaf yüzeyler, binanın enerji tüketim profilini belirleyen en önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Pencere tasarımı, binanın enerji korunum düzeyini, doğal aydınlatma, havalandırma, güneşten pasif kazanç sağlama olanaklarını, dolayısıyla binanın ısıtma, soğutma, yapay aydınlatma, yapay havalandırma nedeniyle harcayacağı enerji miktarını şekillendirmektedir. Enerji etkin pencerelerde, bileşenlerin amaca uygun optik ve termofiziksel özelliklere sahip olması ve yaz-kış, gündüz-gece koşullarında doğru işletim tekniklerinin uygulanması ısı performans açısından büyük önem taşımaktadır.

Gereksiz ısı kayıp ve kazançlarının kontrol edilmesine dayalı, enerji korunumu bağlamındaki çalışmalar, malzeme üretimi ve performansı yanısıra kontrol teknolojilerindeki (Building Management Systems-BMS) gelişime bağlı olarak iç-dış çevre verilerini takip ederek kabuk bileşenlerinin canlı bir metabolizma gibi davranacağı “smart” sistemlere doğru kaymaktadır. Binanın kendi enerjisini üreten bir kabuk ile donatılması çalışmaları da fotovoltaiklerin şeffaf ve opak kabuk bileşenleri ile entegre çözülmesi şeklinde süratle gelişmektedir.

## 2. PENCERELERİN ISIL PERFORMANSI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE GEREKLİ TEMEL İLKE VE KAVRAMLAR

Pencere bileşenlerinin ısı performanslarının değerlendirilebilmesi için, şeffaf (camlar) ve opak (çerçeve) bileşenlerin güneş ışınımına karşı davranışlarının, pencerelerden ısı transferine ait temel ilke ve kavramların bilinmesi gerekmektedir.

Bir binada hava sızdırmazlığının sağlandığı, doğal havalandırmanın hesaplamalar dışında tutulduğu koşullarda, pencere bileşenlerinin ısı performansını, ısı kayıp ve kazanç mekanizmaları belirlemektedir. Isıl performans düzeyi, iç-dış ortam sıcaklıkları, alınan güneş ışınımı miktarı, iç-dış ortam iklim koşulları, camlı sistemi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin termofiziksel, optik ve sızdırmazlık v.b. özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

### 2.1. Camlı Yüzeyler ve Güneş Işınımı

Camlı yüzeyler optik özelliklerine bağlı olarak güneşten doğal ışık ve ısı kazancı sağlamaktadır.

#### 2.1.1. Güneş Işınımı Spektrumu

Güneş ışınımı dalga boyu, şiddeti ve doğrultusu ile karakterize edilebilir. Güneş ışınımının dalga boyuna bağlı olarak enerjisi değişmektedir. Güneş ışınımı ortalama 0,28 µm-3,0 µm arasındaki kısalga elektromagnetik dalgalar halinde yeryüzüne erişir ve 3 ana grupta ele alınabilir:

1. Morötesi ışınım, 0,28-0,37 µm, 2- Görülebilir ışınım (ışık), 0,37-0,76 µm, 3- Kısalga kızılötesi (yakın kızılötesi) ışınım, 0,76-3,0 µm

Güneş ışınımının taşıdığı enerjinin yaklaşık olarak %3'ü gözle görülemeyen morötesi, %47'si ışık olarak görülebilir kısım, %50'si ise gözle görülemeyen kısalga kızılötesi dalga boylarındadır. Güneş ile ısınan objeler ise yüzeylerinden uzunalga kızılötesi ışıma (3,0-5,0 µm) ile ısı yayarlar [1].

### 2.2. Pencerelerden Isı Transferi

Pencerenin ısı açıdan net enerji performansına ait değerler, şeffaf ve opak bileşenlerin güneşten ısı kazançlarının, iç-dış ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma (radyasyon) yolları sonucu gerçekleşen ısı transferinin birlikte hesaplanması ile elde edilmektedir.

Kabuğun şeffaf yüzeylerinden konveksiyon yolu ile ısı akışı, iç-dış ortam sıcaklık farkına bağlı olarak daha soğuk olan yöne doğru gerçekleşmektedir. Isı akışı yönünde havadan konveksiyon yoluyla cama iletilen ısı, camı kondüksiyon yolu ile aşarak diğer yüzden yine konveksiyon yolu ile havaya iletilir. Camın ısı geçirme direncinin opak bileşenlere göre çok düşük olması, kabuktan konveksiyon yolu ile gereksiz ısı kazanç ve kayıplarının artmasına yol açar.

Camlar ışıma yolu ile de ısı transferi, malzemenin optik özelliklerine ve güneş ışınımının yüzeye geliş açısına bağlıdır. Morötesi, görülebilir alan, kızılötesi kısalga boylarındaki güneş ışınımının camdan geçirilen, yansıtılan ve cam tarafından soğurulan bileşenlerinin toplamı 1,0 'e eşittir.

$$a+t+r=1,0 \quad (1)$$

a= soğurma (absorbance), t= geçirme (transmittance), r = yansıtma (reflectance), örneğin düz cam için a= 0,06, t=0,86, r =0,08 'dir.

Camın optik özellikleri cam kalınlığı, katman sayısı, rengi, tekstürü, yüzeyine uygulanan kaplama malzemeleri ve güneş ışınımının geliş açısı (θ) ile değiştirilebilmekte olup, istenen dalga boylarındaki ışınımı geçirip, istenmeyen dalga boylarındaki ışınımı dışarıda bırakabilecek malzeme türleri üretilebilmektedir.

Camdan içeriye alınan ışınım üzerine düştüğü yüzeylerde soğurulduğu oranda ısı enerjisine dönüşerek bir kısmı malzeme içinde depolanmakta, bir kısmı konveksiyon ve uzundalga kızılötesi ışınım yolu ile çevreye yayılmaktadır. Hemen hemen bütün mimari camlar 120 °C nin altındaki sıcaklıklardaki yüzeyler tarafından yapılan uzundalga kızılötesi ışımaya karşı geçirimsiz olup, bu özellikleri Low-E kaplamalar, ısı aynası-heat mirror filmler, seçici geçirgen özellikteki kaplamalar ile daha da geliştirilebilmektedir. Camların bu özelliği, sera etkisi oluşturarak güneşten gelen ışınımlardan özellikle görülebilir alan ve kırsadalga kızılötesi ışınım tarafından taşınan enerjinin ısı enerjisi olarak iç mekanlarda yakalanması ve yığılmasını sağlamaktadır. Şeffaf yüzeyler uzundalga kızılötesi ışınım geçirgenliklerine bağlı olarak, ışınım yolu ile kendisinden daha sıcak yüzeylerden ısı kazanabilir (örneğin yaz gündüzü dış çevreden gelen ısı), ya da kendisinden daha soğuk yüzeylere ısı kaybedebilir (kış gecesi dışarıdaki daha soğuk ortama).

### 3. PENCERELERİN ISIL PERFORMANS AÇISINDAN İNCELENMESİ VE PERFORMANS GÖSTERGELERİ

Pencerelerin ısı performans açısından incelenmesinde performans göstergeleri kullanılmaktadır. Performansların görece değerlendirilmesi açısından, sürekli gelişen ürünler, değişen gereksinimler ve amaçlanan performans çerçevesinde, sayısal değerler vermek güçtür. Ancak performansı amaca yönelik olarak iyileştiren tercihler söz konusudur.

Pencerelerin ısı performanslarının değerlendirilmesinde, en sık başvurulan performans göstergeleri :

1. Isı korunum düzeyi, ( $U_o$ )
2. Güneş kontrolü düzeyi, ( $SC$ ,  $SHGC$ ,  $F_{pen}$ ),
3. Güneşten ısı kazancı düzeyi, ( $SC$ ,  $SHGC$ ,  $F_{pen}$ )
4. Güneş kontrolü yaparken günışığı yeterliliğinin sağlanması ( $Dx \geq 1,0$ )'dir.

Bu göstergelere ait tanımlar şöyle sıralanabilir:

#### Pencerenin Ortalama Isı Geçirme Katsayısı, ( $U_o$ , $W/m^2K$ ):

Pencere bileşenlerinin ortalama ısı geçirme katsayısı olan  $U_o$  değeri, pencereyi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin alanına bağlı olarak hesaplanan, birim alan için kondüksiyon, konveksiyon ve ışınım yolları ile ısı transferi miktarını belirtir. Bu değer pencerenin ısı geçirme direncinin tersidir, yani  $U_o = 1/R$ 'dir.  $U_o$  değeri düştükçe ısı transferi miktarı azalır. Pencerenin ısı korunum düzeyi artar [1,2,3].

#### Gölgeleme Katsayısı ( $SC$ -Shading Coefficient):

Camın güneş ışınımına karşı güneş kontrolü veya ısı kazancı açısından performansına yönelik genel değerlendirmelerde kullanılır. İncelenen cam tipinin standard koşullar için ( $\theta=0^\circ$ , yani güneş ışınımının cam yüzeyine dik geldiği koşullarda) güneş ısı kazanç katsayısının 3mm.lik tek tabakalı düz cama oranlanması sonucu elde edilen bir değerdir. Farklı cam tiplerinin düz cama göre güneş ısı toplam geçirgenlik değerlerini gösterir. Düz camın gölgeleme katsayısı 1,0, yansıtıcı camın 0,2 'dir.  $SC$  değeri yükselerek 1,0 'e yaklaştıkça güneşten ısı kazancı artar (kış koşulları için uygundur), azalarak 0,0 'a yaklaştıkça güneşten ısı kazancı azalır, dolayısıyla binanın soğutma yükünü azaltır (yaz koşulları için uygundur).  $SC$  değeri, gelişmiş cam tiplerinin, çok katmanlı camların güneş kontrolü veya ısı kazançları açısından performanslarının etüdünde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, daha kesin sonuçlar için aşağıda tanımı verilen, camın ve pencerenin güneş ısı kazanç katsayıları ( $SHGC$  yani  $F$  değerleri) kullanılmaktadır. Gölgeleme katsayısı düşürülerek ile güneşten ısı kazancı azaltılırken, görülebilir alandaki günışığının doğal aydınlatma için yeterli düzeyde alınıp alınamayacağı kontrol edilmelidir [1,2,3,6].

#### Serinlik İndeksi ( $Coolness Index-Dx$ ):

Güneş kontrolü amaçlı camlarda doğal aydınlatma düzeyinin yeterliliğini kontrol için kullanılır. Şeffaf yüzeyin ışık, yani görülebilir alan ışınım geçirgenliğinin ( $T_{vis}$ ), gölgeleme katsayısına ( $SC$ ) oranıdır ( $Dx = T_{vis}/SC$ ). Düz camın  $Dx$  değeri 1,0 olup, günışığı yeterliliği için sınır değerdir. Camın rengi

koyulaştıkça görülebilir alan geçirgenliği azalır, kısadalga kızılötesi ışınım geçirgenliği sabit kalır. Dx değeri 1,0 'in altına iner. Performansı yüksek olan camlarda bu değer 1,25-2,0 arasında değişmektedir [1, 3,6].

#### **Güneş ısı kazanç katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC<sub>pen</sub> veya F<sub>pen</sub>; SHGC<sub>cam</sub> veya F<sub>cam</sub>):**

SHGC veya daha kısa tanımı ile F, pencerenin güneş ışınımına karşı güneş kontrolü veya ısı kazancı açısından performansına yönelik hassas değerlendirmelerde kullanılır. F<sub>pen</sub> değeri cam tarafından iç ortama geçirilen ısı enerjisi ile çerçeve ve cam tarafından soğurulduktan sonra iç ortama verilen ısı enerjisi miktarlarının toplamıdır, tüm pencerenin güneşten ısı kazancını belirler. Güneşten ısı kazancı sağlamak açısından F değeri yüksek olan pencere tipleri tercih edilmelidir. Güneş kontrolü açısından ise, F değerinin düşük olması gereklidir. Bu değerler salt cam veya salt çerçeve için de hesaplanabilmektedir. F<sub>cam</sub> değeri camlı yüzeyin, performansının etüdünde kullanılır. Düz cam için F değeri gölgeleme katsayısının % 87'sidir. Camların güneşten ısı kazançları açısından performanslarının değerlendirilmesinde son yıllarda önem kazanan bu değer, camın soğurma (a) ve geçirgenlik (t) değerlerine, güneş ışınımının geliş açısına (θ'ya) göre değişim göstermektedir. Camların güneş ışınımına karşı performansının belirlenmesinde, referans cam tipine oranlanarak dolaylı performans etüdünün yapılması, yani SC değeri yerine, yüzeye etkiyen güneş ışınımının şiddetine ve geliş açısına göre değişim gösteren, F<sub>pen</sub> F<sub>cam</sub> değerinin kullanılması daha kesin bilgi vermektedir [1].

## **4. OPAK VE ŞEFFAF PENCERE BİLEŞENLERİNİN TERMOFİZİKSEL VE OPTİK ÖZELİKLERİ**

İ. Ayçam (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışma çerçevesinde, piyasada sık kullanılan çerçeve ve cam tiplerinin ısı performanslarına ait araştırma sonuçları aşağıda yer almaktadır.

### **4.1. Opak Pencere Bileşeni, Çerçeve**

Çerçeve malzemesinin termofiziksel ve optik özellikleri pencerenin U<sub>o</sub> ve F<sub>pencere</sub> değerlerini dolayısıyla, ısı kayıp ve kazanç miktarını etkilemektedir. Piyasada kullanılan başlıca çerçeve tipleri; 1- Alüminyum, 2- Ahşap ve 3- PVC'dir.

#### **1- Alüminyum Çerçeve:**

Isı korunumu açısından ısı geçirme katsayısının diğer çerçeve malzemelerine göre daha yüksek olması nedeniyle (U<sub>alüm. ısı tutucusuz</sub> = 10,80 W/m<sup>2</sup>K ; U<sub>alüm. ısı tutuculu</sub> = 5,68 W/m<sup>2</sup>K), ısı kayıp ve kazançları açısından en dezavantajlı çerçeve tipidir. Isı tutucu (thermal break) kullanılması halinde, U<sub>o</sub> değeri %8-15 oranında azaltılabilmektedir. Çerçevenin F değeri diğer pencerelere göre daha yüksektir (F=0, 14).

#### **2- Ahşap çerçeve:**

Ahşap çerçevenin ısı geçirme katsayısı (U<sub>ahşap</sub> = 2,27 W/m<sup>2</sup>K) alüminyum çerçevelere göre daha düşüktür. Isı transferini azaltmak açısından daha olumludur. F<sub>pen</sub> değerini marjinal oranda etkilemektedir (F=0,02-0,07).

#### **3- PVC Çerçeve:**

Kullanılan PVC profilin masif olmaması, arasında hava kilitlemesi içermesi nedeniyle ısı geçirme katsayısı alüminyum çerçeveye oranla daha düşüktür (U<sub>PVC</sub> = 1,70 W/m<sup>2</sup>K) Ahşap ve PVC çerçevelerin U değerleri birbirine yakın değerdedir. F değeri açısından performansı ahşap çerçeveye yakın olup (F=0,02-0,07), alüminyum çerçeveden daha düşüktür.

## 4.2. Şeffaf Pencere Bileşeni; Camlar

Günümüzde yapı endüstrisi güneş kontrolü ve ısı korunum düzeyi açısından camın performansının artırılmasına yönelik çok geniş ürün seçeneği sunmaktadır. Güneş kontrol camları güneş spektrumunun görülebilir alan, kızılötesi ve morötesi ışınımına karşı yansıtma, geçirgenlik ve soğurma özelliklerini denetleyerek iç ortam ısı konforunun sürekliliğini sağlar. Isı korunumuna yönelik camlar (iklim kontrol camları) ise, gerek camlı sistemin ısı direncini artırmaları, gerekse ışıma ile ısı transferini azaltma özellikleri ile performansa katkıda bulunurlar. Güneş kontrolü ve ısı korunumuna yönelik olarak yaygın kullanıma sahip camlar hakkında bilgi aşağıda yer almaktadır.

### 1- Isı Soğuran (Renkli) Camlar (Heat Absorbing-Tinted Glass):

Bu tip camlar, tüm kısalga ışınları kullanılan camın rengine ve kalınlığına göre farklı oranlarda bünyesinde soğurma yeteneğine sahiptir. Güneş kontrolüne yönelik kullanılırlar. Tek cam uygulamalarında soğurulan ışınımın önemli bir kısmı iç ortama verildiğinden lokal konforsuzluk yaratabilir. Cam tarafından soğurulan ısının iç ortama verilen yüzdesinin azaltılması ve camın ısı direncinin artırılması için, genellikle çift cam tercih edilir. Isı soğuran cam dışta, düz cam içte kullanılır. Değişik renklerde üretilmekte, en çok bronz, gri, yeşil, mavi tonları tercih edilmektedir. Görülebilir ışınım geçirgenliği (Tvis), en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla yeşil, mavi, bronz ve gri renklerde dir. Renk koyulaşması doğal aydınlatma yeteneğinin azalmasına neden olması yanısıra, kısalga kızılötesi alandaki geçirgenliği yeterince azaltmadığı için, ısı kazancının yüksek olmasına yol açmakta, güneş kontrolü ve soğutma yükünün azaltılması açısından performans düşmektedir. Güneş kontrolü açısından performansları reflektif camdan biraz daha düşük, ancak, Dx değerleri daha yüksektir. Özellikle mavi ve yeşil renkli camlarda  $Dx \geq 1,0$  koşulu sağlanabilmekte olup, soğutma yükü ısıtma yükünden fazla olan binalarda tercih edilebilir [3,4,5].

### 2- Yansıtıcı (Reflektif) Camlar:

Güneş kontrolü açısından yüksek performanslı sahip cam tipidir. Ancak güneşin kısalga kızılötesi ışınımını yanı sıra, görülebilir alan ışınımını da büyük ölçüde yansıtması nedeniyle, Dx değerleri 1,0'den düşük olup, doğal aydınlatma açısından yetersizdir. Bu tür camlar içsel ısı kazancı yüksek, ofis benzeri binalarda güneş kontrolüne katkıda bulunurlar. Ancak yapay aydınlatma gereksinimini artırarak, binanın soğutma yükünü yükselttikleri gibi, kışın güneşten ısı kazancını azaltırlar. Bu dezavantajları yanısıra çevre binalar, yayalar, sürücüler için parlama sorunları yaratmaları nedeni ile piyasada çok yaygın kullanılmalarına rağmen tercih edilmemelidir [3,4,5].

### 3- Düşük Emissiviteli (Low-E ) Camlar:

ışıma yoluyla ısı transferini azaltması nedeniyle düz cama göre pencerenin  $U_0$  değerini düşürmekte, ısı korunumu açısından performansı artırmaktadır. Kaplama malzemesinin doğru konumlandırılması performansı büyük ölçüde belirlemektedir. Isı kayıplarının azaltılmasına yönelik uygulamalarda iç ortam yönünde kullanılır. Kaplamanın dış kesimde yer alması  $U_0$  açısından düz camın performansı seviyesine düşmesine neden olacaktır. Çift tabakalı camlarda kaplamanın (soft) dayanımını artırmak için iç kesimde boşluğa bakan yüzeyde konumlandırılır. Düşük emissiviteli camların ısı korunumu açısından performansları güneş kontrolü performanslarından daha yüksektir. Çift tabakalı düz cama (ısıcam) göre ısı korunumunda % 23-26, güneş kontrolünde % 13 performans artışı sağlamaktadır. İklim koşullarının sertleşmesi halinde, üçlü cam kullanılması ve içteki iki tabakanın Low-E seçilmesi, ısı korunumunu daha da yükseltmektedir. Her iki tipde Dx değeri açısından yeterlidir. Isıtma yükü daha fazla olan, soğuk iklim bölgelerinde tasarlanan binalarda kullanılmalıdır [3,4].

### 4- Seçici Geçirgen (Spectrally Selective) Özellikteki Camlar:

Güneş spektrumunun görülebilir, kızılötesi veya morötesi alan ışınımından biri ya da birkaçını filtre ederek, kontrol etme özelliği taşırlar. Optik özellikleri paralelinde tüm iklim koşulları ve bina tipleri için amaca uygun seçici geçirgen cam tipi bulunmaktadır. Düz cam veya renkli cam üzerine uygulanan türleri vardır. Güneşin kısalga kızılötesi ışınımına, iç ve dış ortamdaki uzundalga kızılötesi ışınımına karşı farklı yüzdelere yansıtıcı özellikte yapılabilmeleri nedeniyle binalarda güneş kontrolü amaçlı veya ısı kayıplarını azaltmaya yönelik olarak kullanılmaktadır. Çift tabakalı düz cama göre ısı korunumunda % 33, güneş kontrolünde % 38 performans artışı sağlamaktadır. Bu tip camlar insan

gözünün duyarlı olduğu 0,43-0,69  $\mu\text{m}$ .lik kısmını geçirme, kalan kısmını yansıtma yetenekleri paralelinde doğal aydınlatma açısından da yüksek performansa sahiptir ( $D_x \geq 1,0$ ). Çok katmanlı kombinasyonlarda gerek güneş kontrolü, gerekse ısı korunumu açısından camın performansını, camın doğru konumlandırılması belirlemektedir. Seçici geçirgen kaplamanın yıpranmasını engellemek amacıyla, genellikle çift camlı kombinasyonlarda dış camın iç yüzeyinde kullanılırlar [2, 3,5,6].

#### 5- Polyester Film Kaplamaları:

Camın iç yüzeyine uygulanmak koşulu ile, güneşin görülebilir alan ışınımını geçiren, kırsaldalga kızılötesi ve uzundalga kızılötesi ışınımına karşı yansıtıcı özellik taşıyan bu tip filmler, güneş kontrolü, ve ışınım yolu ile ısı transferini azaltmak için yararlıdır. Çift tabakalı düz cama göre ısı korunumunda % 36, güneş kontrolünde % 30 performans artışı sağlamaktadırlar. Ancak çok kolay yıpranmaları nedeni ile ömürleri kısadır. Çift cam arasında kullanılmaları gerekir.  $D_x$  açısından yeterli performansa sahiptir. Gerek ısıtma yükü, gerekse soğutma yükü yüksek olan binalarda kullanılabilirse de performans ve dayanım açısından seçici geçirgen cam tercih edilmelidir [3].

#### 6- Isı Aynası (Heat Mirror) Cam :

Cam tabakaları arasındaki hava boşluğunda cam yüzeylerine temas etmeden konumlanan, kısa ve uzun dalgaboyunda kızılötesi ışınımına karşı yansıtıcı özellik taşıyan filme sahip çift camdır. Güneş kontrolü performansı yüksek olduğu gibi, hem konveksiyon hem de ışınım yoluyla ısı transferini çok azaltması nedeniyle, U değeri düşüktür. Özellikle çift tabakalı kullanılması ,güneş kontrolü açısından performansı çok yükseltmektedir. Çift tabakalı düz cama göre güneş kontrolünde tek ısı aynası katmanı %25-30, çift ısı aynası katmanı ise %70 performans artışı sağlamaktadır.  $D_x \geq 1,0$  koşulunu sağlamakta olup, ışık geçirgenliği yeterli düzeydedir. Sıcak iklim bölgelerinde, soğutma yükü yüksek binalar için uygundur, ısıtma ve soğutma yükü eşit ve yüksek binalar için kışın güneşten ısı kazancının azalması göze alınarak, düşük  $U_0$  değeri nedeni ile tercih edilebilir [3,5].

#### 7- Camlararası Boşlukta Asal Gaz Kullanımı:

Havaya göre ısı iletkenlik değeri daha düşük, viskozivite değeri yüksek, olan asal gazların enjekte edilmesi ısı transferini belirgin oranda azaltmaktadır. Ucuz olması nedeniyle en yaygın kullanılan seçenek argon gazı ise de, ısı korunumu açısından en yüksek performans kripton gazı kullanımı ile elde edilmektedir. Çift tabakalı uygulamalarda argon gazı kullanımı % 11, kripton gazı kullanımı %22 oranında performansı artırmaktadır. Isıtma yükü yüksek binalarda çift veya üç katmanlı cam uygulamalarında kullanılabilir [1, 3, 4]

#### 8- Akıllı Camlar (Smart, Switchable Glazing):

Değişen iklim koşulları ve binanın gereksinimleri paralelinde optik özelliklerini değiştirerek, akıllı filtreler şeklinde davranan camlardır. Güneşten ısı kazancının istendiği dönemde güneşin ısı etkisi taşıyan ışınımını geçirir, güneş kontrolünün istendiği dönemde bu ışınımı yansıtır, yalnızca görülebilir alan için yeterli kısmı geçirirler. Başlıca tipleri, fotokromik, elektrokromik, termokromik, holografik camlardır. Isıtma ve soğutma yükleri eşit ve yüksek olan binalarda mevsimlik değişikliklere uyum sağlama yetenekleri nedeniyle önerilir. Bunun yanısıra içsel ısı kazançları yüksek olan, mevsimlik güneş kontrolünün büyük önem kazandığı binalarda da kullanılabilir. Yüksek performanslarına karşın yüksek olan maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar halen devam etmektedir [4,6].

### 5. PERFORMANS GÖSTERGELERİNİN SOĞUTMA VE ISITMA YÜKLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölgenin iklimsel koşulları (ısıtma ve soğutma gerektiren dönemlerin uzunluğu), binanın içsel ısı kazançlarının (yani bina içindeki insanların, elektrikle çalışan aletlerin, aydınlatma elemanlarının iç ortama yaydığı ısı enerjisinin) düzeyine göre ısıtma ve soğutma yükleri (yani yıllık bazda mekanların ısıtılması ve soğutulması için tüketilen enerji miktarları) farklılaşmaktadır. Bu nedenle amaca uygun opak ve şeffaf pencere bileşenlerinin özellikleri binadan binaya farklılık gösterecektir. Bu çerçevede 4 temel bina tipi bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla:



**1- Yılboyu ısıtma yükü yüksek olan,** yani soğuk iklimde yer alan ve içsel ısı kazancı düşük olan bina türlerinde pencerelerin ısı korunum düzeyinin yüksek olması ve güneşten ısı kazancı sağlamak hedeflenir. Buna göre, pencerenin ortalama ısı geçirme katsayısı ( $U_o$  değeri) düşük,  $F_{pen}$  değeri yüksek olmalıdır. Cam tipinin güneşin enerji taşıyan görülebilir ve kırsadalga kızılötesi alandaki ışınımına geçirgenliğinin ( $t$ ) yüksek olması istenir.

**2- Yılboyu soğutma yükü yüksek,** yani sıcak iklimde yer alan ve içsel ısı kazancı yüksek olan binalarda, camlı yüzeylerin ortalama ısı geçirme katsayısının ( $U_o$ ) yine düşük olması tercih edilir. Ancak güneş kontrolü öncelikli performans kriteridir. Seçilen pencerenin  $F_{pen}$  değeri düşük olmalıdır. Güneşin yüksek enerji taşıyan kırsadalga kızılötesi alan ışınımına ve hatta doğal aydınlatma için yetecek ışığı almak kaydı ile görülebilir alandaki ışınımına da geçirgenliğinin minimuma indirilmesi temel hedeftir. V-lambda eğrisi olarak tanımlanan, görülebilir ışınımın %99,4'ünü oluşturan 4,3–6,9  $\mu m$  dalgaboylarındaki ışınımın doğal aydınlatma açısından gereklidir. Bu nedenle camın 4,3–6,9  $\mu m$  arasındaki ışınım için  $t$  değeri maksimum,  $r$  minimum iken, kırsadalga kızılötesi ışınımına doğru geçildikçe  $t$  minimum,  $r$  maksimum olmalıdır. Ayrıca dış ortamdaki sıcak yüzeylerin uzundalga kızılötesi alanda yapacakları ışıma karşı  $r$  değerinin yüksek tutulması ısı kazancını azaltmak açısından önem taşır.

**3- Yılboyu ısıtma ve soğutma yükü eşit ve yüksek olan binalarda,** yaz ve kış koşullarının sert geçmesi nedeniyle, pencerelerin ısı korunumu yüksek olmalıdır. Yazın güneş kontrolüne yönelik olarak  $F_{pen}$  değerinin düşük seçilmesi kış koşullarında güneşten ısı kazancını azaltacağından kış-yaz koşullarına göre optik özelliklerini değiştirebilen akıllı camlar (elektrokromik, fotokromik, holografik, v.b.) en uygun çözümdür. Bu çözümün mümkün olmadığı koşullarda kışın güneş kazancını düşürmeyecek, yüksek  $F_{pen}$  değerine sahip cam seçilmelidir. Ancak yaz koşullarında aşırı ısınmayı kontrol etmek için hareketli güneş kontrol elemanlarının kullanımı önemlidir.

**4- Yılboyu ısıtma ve soğutma yükü eşit ve düşük olan binalarda,** iklim koşullarının yumuşamasına bağlı olarak, pencerenin gerek ısı korunumu, gerekse güneş kontrolü açısından yüksek performans göstermesi zorunluluğu yoktur.  $U_o$  ve  $F_{pen}$  değerleri orta düzeyde pencereler tercih edilebilir.

Isıtma ve soğutma yükleri farklı bina tiplerinde performans göstergeleri Tablo 1'de ifade edilmektedir.

**Tablo 1.** Isıtma ve Soğutma Yükleri Farklı Bina Tiplerinde Pencerelerin Performans Kriterleri

Bina Tipi (yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine göre)	$U_o$	$F_{pen}$	SC	Kırsadalga kızılötesi ışınım geçirgenlik değeri	$T_{vis}$	$Dx \geq 1,0$ Koşulunun kontrolü
Isıtma yükü yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	F yüksek olması nedeniyle çok gerekli değil
Soğutma yükü yüksek	Orta veya Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	F düşük olması istendiği için çok gerekli
Isıtma ve soğutma yükü eşit ve yüksek	Düşük	Kışın yüksek	Kışın yüksek	Kışın yüksek	Yüksek	F düşük olması istendiği için çok gerekli
		Yazın Düşük	Yazın Düşük	Yazın Düşük		
Isıtma ve soğutma yükü eşit ve düşük	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Gerekli

## 6. PENCERELERİN ISIL PERFORMANSININ ARTIRILMASINA YÖNELİK YURTDIŞINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR

Amerika'da Enerji Departmanı (DOE) ve Lawrence Berkeley Laboratuvarlarında (LBL.) Selkowitz ve ekibi tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Amerika'nın 3 ayrı iklim bölgesi için pencerelerin sağlaması gereken performans sınır değerleri saptanmış, farklı bileşenlerle üretilen pencere tiplerinin yıllık ısıtma ve soğutma maliyetlerine olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaya göre, Kuzey bölgelerindeki (ısıtma yükü ağırlıklı) binalarda pencerenin  $U_o$  değeri  $1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$  altında olması istenmektedir.  $F_{pen}$  değeri için  $0,30-0,60$  arası kabul edilmekle birlikte,  $F_{pen}$  değerinin  $0,55$ 'den yüksek olması tercih edilmektedir. Orta Amerika 'daki bölgeler için (ısıtma-soğutma yükü eşit ve düşük) pencerenin  $U_o$  değerinin maksimum  $2,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $F_{pen}$  değerinin ise, binanın içsel ısı kazançlarının düzeyine göre belirlenmek şartı ile maksimum  $0,55$  olması istenmektedir. Güney bölgeleri için ise (soğutma yükü ağırlıklı) çok yumuşak kış koşulları nedeni ile kabuğun güneşten ısı kazancını yükselteceği gerekçesi ile  $U_o$  değerinin  $4,5-3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  olarak yüksek tutulması önerilmektedir. Ancak yazın air-condition kullanılan binalar için iç-dış ısı transferinin azaltılmasının önemi düşünüldüğünde belirtilen  $U_o$  değerlerinin air-condition olmayan binalara yönelik verildiği, aksi takdirde çok daha düşük tutulmasının gereği anlaşılmaktadır. Güneş kontrolü öncelikli olduğu için  $F_{pen}$  değeri min.  $0,40$  olmalıdır [7].

Türkiye'de konuyla ilgili yönetmelik olan TSE 825 (1998)' de 4 ayrı iklim bölgesi için binanın ve duvarların sağlaması gereken  $U$  değerleri ayrı ayrı belirtilmiş olmasına karşın tüm bölgeler için tek tip  $U_o$  pencere değeri ( $2,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) verilmiştir. Benzer bir çalışmanın Türkiye koşulları için de gerçekleştirilmesine, farklı iklim bölgeleri için uygun pencerelerin ve camların belirlenebilmesi için,  $U_o$  ve  $F$  değerlerinin saptanmasına gereksinim duyulmaktadır.

Amerika'da Yapı Mühendisleri Laboratuvarı (USA-CERL) ve Illinois Üniversitesi Makine ve Endüstri Bölümleri, BLAST Destek Birimi BSO (BLAST Support Office) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, pencerelerin ısı performans analizini yapan LBL Windows 4.1 ve binanın enerji performansının analizini yapan BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) programları kullanılarak, Amerika'da 6 iklim bölgesinde, cam alternatiflerinin yönler göre, ısı performansları ve maliyetleri incelenmiştir. Performans etüdü yapılan camlar,

1. çift düz cam,
2. çift cam, dış düz- iç Low-E,
3. çift cam, arasında ısı aynasıdır.

Çalışma sonucunda ısıtma yükü yüksek binalarda Low-E camlar, soğutma yükü yüksek binalarda ısı aynalı camlar, hem ısı performans hem de maliyet açısından diğer seçeneklerden daha iyi sonuç vermiştir [7].

Aynı ekip tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada LBL Windows 4.1 ve DOE-2 programları kullanılarak, ofis binalarının camlarının yenilenmesi ve kullanılan cam tiplerinin, binanın enerji performansına etkisi ve maliyet açısından analizi gerçekleştirilmiştir. Binada kullanılmakta olan alüminyum çerçeveli, çift tabakalı bronz renkli ısı soğuran cam yerine, yine hepsi çift tabakalı olarak:

1. dış düz cam-iç Low-E cam,
2. dış bronz renkli cam-iç Low-E cam,
3. dış bronz renkli cam-iç düz cam, cam tabakaları arasında ısı aynası
4. dış yeşil renkli cam-iç düz cam boşlukta ısı aynası,
5. dış mavi renkli cam-iç düz cam, boşlukta ısı aynası+ asal gaz kullanımı etüd edilmiştir.

Performans değerlendirmesinde camın ilk yatırım maliyeti,  $D_x$  değeri, binanın yapay aydınlatma yükü, cam fiyatları, maliyeti karşılama süresi, kullanım ömrü dikkate alınmaktadır. Performansta camın  $D_x$  değerleri, doğal ışıktan yararlanma düzeyi binada yapay aydınlatma yükünün azaltılması açısından büyük önem taşımakta olup, cam seçimini etkilemektedir. Tüm etkenlerin birlikte değerlendirilmesi sonucu, sırasıyla 5, 4 ve 3 nolu seçenekler genel performans değerlendirmesinde daha başarılı bulunmuştur. Renkli cam+ısı aynalı cam tipleri ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın, binanın enerji performansına etkisi ve kullanım ömürleri açısından diğer örneklerden daha iyi sonuç vermektedir.



Gelişmiş ülkelerde binaların enerji kodlarının oluşmaya başlaması, pencerelerin enerji performanslarının ölçülmesi, ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması açısından bileşenlerin sağlanması gereken kriter değerlerin saptanması, pencerelerin etiketleme (labelling) ile tüm teknik özelliklerinin üzerinde belirtilmesine, bulunulan bölgenin iklim koşullarına, binanın tipine uygun özellikleri taşımasının sağlanmasına, kullanıcıların bu konuda bilinçlendirilmesine, doğru ürünü seçmelerine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Amerika'da NFRC (National Fenestration Rating Council) pencerelerin sağlanması gereken ısı performanslarına ait özellikleri hesaplamakta, yayınlamaktadır. Performans analizlerinde LBL Windows 4.1, RESFEN yazılımları kullanılmaktadır. Pencerelerin performansının binanın enerji performansına etkisinin, ısıtma ve soğutma yükleri açısından değerlendirilmesinde direkt veri teşkil edecek olan, "ısıtma gerektiren dönemdeki enerji performansı" (Fenestration Heating Rating-FHR), "soğutma gerektiren dönemdeki enerji performansı" (Fenestration Cooling Rating-FCR) değerlerinin hesaplanmasına yönelik teknikler geliştirilmekte, konuya ait çalışmalar devam etmektedir [5].

## 7. PENCERELERİN ISIL PERFORMANSLARININ ARTIRILMASINA VE ISITMA-SOĞUTMA YÜKLERİ FARKLI BİNA TİPLERİNDE PENCERE BİLEŞENLERİNİN SEÇİMİNE YÖNELİK ÖRNEK ÇALIŞMA

Ayçam (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, piyasada son yıllarda kullanılan yeni cam seçenekleri ve farklı çerçeveler ile oluşturulan pencere tiplerinin ısı korunumu, güneş kontrolü ve doğal ışıktan yararlanma açısından performansları standard ASHRAE-NFRC iklim koşulları için, ASHRAE hesaplama yöntemini baz alan, LBL-W4.1(1994) yazılımı kullanılarak karşılaştırılmış, pencerelerin ısı performanslarını artırılmasına, ısıtma ve soğutma yükleri farklı olan binalar için uygun cam tiplerinin seçimine ait yönlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışmada gözönünde bulundurulmuş kabuller ve sınırlamalar şunlardır:

- Çalışma, pencerelerin ısı performanslarının ısı kayıpları ve kazançları çerçevesinde değerlendirilmesi ile sınırlandırılmış olup; pencerelerin sızdırmazlığının yeterli oranda sağlandığı kabul edilmektedir.
- Pencereler birim alana ( $1m^2$ ) sahiptir. Çerçevenin cinsine göre, camlı yüzeylerin ve çerçevenin alanları farklılık göstermektedir.
- Cam kalınlıkları 6mm.'dir.
- Cam tabakaları arasındaki boşluk kalınlıkları 12,7 mm. olarak sabittir.
- Tüm pencereler tek kanatlı açılan pencere şeklinde kabul edilmiştir.
- Pencerenin tamamının güneş aldığı varsayılmaktadır (Çevre binalardan veya herhangi bir güneş kontrol elemanından gölge almadığı kabul edilmektedir.).
- İncelenen Low-E camlar yüksek performanslı (emissivite değeri  $e=0,1$ ) soft (yumuşak, online) tip kaplama içermektedir.
- Güneş ışınımının pencere yüzeyine dik açıyla geldiği, yani ışınım geliş açısı  $\theta$ 'nın  $0^\circ$  olduğu kabul edilmektedir.
- Isıl performans analizlerinde pencerenin şeffaf bileşenini oluşturan cam tabakaları dış ortamdan iç ortama doğru, en dış yüzey 1 den başlayacak şekilde içeriye doğru artarak numaralandırılmakta, kaplama malzemesinin hangi yüzeyde konumlandığı # işareti ile belirtilmektedir.
- Pencere tiplerinin performans değerlendirmesindeki göreceli farklılıklar P01'e göre oranlanarak elde edilmiştir.

Bildiride, çalışmada incelenen 41 pencereden performans açısından diğerlerinden farklılık gösteren pencere tipleri seçilmekte, 3.0.'da belirtilen performans göstergeleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Seçilen pencerelere ait numaralar değiştirilmemiş, çalışmadan aynen alınmıştır. P42, P43 ise yeni önerilmiş pencere tipleridir.

Buna göre incelenen pencere tipleri şunlardır:

1. P01) Alüminyum çerçeve (ısı tutucusuz), tek düz cam
2. P07) PVC çerçeve, tek seçici geçirgen yüzey kaplamalı cam (# 2)
3. P09) Alüminyum çerçeve (ısı tutuculu), çift düz cam,
4. P10) Alüminyum çerçeve (ısı tutuculu), çift cam, dış yansıtıcı cam (#2 altın rengi)-iç düz cam
5. P12) Alüminyum çerçeve (ısı tutuculu), çift cam, dış ısı soğuran cam (mavi renk)-iç düz cam
6. P19) Ahşap çerçeve, çift cam, dış düz cam-iç Low-E cam (#3)
7. P20) Ahşap çerçeve, çift cam, dış seçici geçirgen yüzey kaplamalı cam (#3), boşlukta argon gazı
8. P23) PVC çerçeve, çift cam, dış seçici geçirgen yüzey kaplamalı cam (# 2), iç düz cam
9. P26) PVC çerçeve, çift düz cam, camlararası ısı aynası (HM88 tip) film
10. P27) PVC çerçeve, çift tabakalı düz cam, arasında, ısı aynası (HM88 tip) film, boşlukta kripton gazı
11. P29) PVC çerçeve, çift cam, arasında, 2 tabaka ısı aynası (HM66 tip) film
12. P38) PVC çerçeve, üç tabakalı düz cam
13. P39) PVC çerçeve, üç tabakalı cam, dış iki tabaka düz cam, en iç tabaka Low-E cam (#5)
14. P40) PVC çerçeve, üç tabakalı cam, dış seçici geçirgen kaplamalı cam(# 2), iç iki tabaka Low-E cam (# 2, #5)
15. P41) PVC çerçeve, üç tabakalı cam, dış (# 2), seçici geçirgen kaplamalı cam, iç iki tabaka (# 2, #5), Low-E cam, boşlukta kripton gazı
16. P42) PVC çerçeve, çift düz cam, camlararası 2 tabaka ısı aynası (HM66 tip), boşlukta kripton gazı
17. P43) PVC çerçeve, çift düz cam, dış renkli seçici geçirgen kaplamalı cam (#2), iç düz cam, camlar arasında ısı aynası (HM88) film, boşlukta kripton gazı

İncelenen pencerelerin performans göstergelerine göre sıralamaları ve performanslarındaki görece farklılıklar Tablo 2.'de belirtilmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

Camların sabit kaldığı koşulda ısı korunumu açısından U değeri düşük çerçeve tipi seçilmesi ve/veya camlararası asal gaz kullanımı performansı artırmaktadır.

- Camlar arasında argon, performans açısından tercihen kripton gazı kullanımı, ısı korunum düzeyini, artırmaktadır. Özellikle ısı aynası, seçici geçirgen cam ve Low-E camlarda performans artışı belirgin düzeydedir.
- İncelenen örnekler arasında, çift cam, arasında çift tabaka ısı aynası+kripton gazı kombinasyonu, ısı korunumu açısından en yüksek performansa sahip cam tipidir. Güneş kontrolü ve Dx değeri açısından da performansı çok yüksektir.
- Çalışmada, çift tabakalı, dış renkli seçici geçirgen kaplamalı cam (#2), iç düz cam, camlar arasında ısı aynası (HM88) film kombinasyonu, güneş kontrolü ve Dx değeri açısından en yüksek performansa sahip uygulamadır. Isı korunumu açısından performansı da yüksektir.
- Gerek güneş kontrolü gerekse ısı korunumu açısından performansı diğerlerinden çok yüksek bir diğer örnek, üç tabakalı, dış seçici geçirgen kaplamalı (# 2) cam, iç iki tabaka (# 2, #5), Low-E cam'dır.

Tablo 2. Pencereleerin performans göstergelerine göre sıralamaları ve performanslarındaki görelî farklılıklar

Sıra İama No:	Pencere No:	$U_o$ W/m <sup>2</sup> K	$U_o$ %	Pencere No:	SC	SC	SC	Pencere No:	SC	%	Güneşten İsi Kazancı	Minimum	Pencere No:	$F_{pen}$	$F_{pen}$ %	Güneşten İsi Kazancı	Minimum	Pencere No:	$F_{pen}$	$F_{pen}$ %	Güneşten İsi Kazancı	Minimum	Pencere No:	$D_x$	$D_x$ %	Yetersiz Güneş	Yeterli Güneş
01.	P42	0,85	% 88,00	P43	0,18	% 80,00	P43	0,16	% 80,0	P43	0,16	% 80,0	P43	0,16	% 80,0	P43	0,16	P43	0,16	% 80,0	P43	0,16	P43	1,500	% +50,0		
02.	P41	1,01	% 85,00	P29	0,23	% 76,00	P29	0,19	% 76,00	P29	0,19	% 76,00	P29	0,19	% 76,00	P29	0,19	P07	0,19	% 76,00	P07	0,19	P07	1,396	% +40,0		
03.	P43	1,15	% 83,00	P42	0,23	% 75,00	P42	0,19	% 76,00	P42	0,19	% 76,00	P42	0,19	% 76,00	P42	0,19	P29	0,19	% 76,00	P29	0,19	P29	1,391	% +39,0		
04.	P40	1,23	% 82,00	P40	0,35	% 62,00	P40	0,30	% 62,00	P40	0,30	% 62,00	P40	0,30	% 62,00	P40	0,30	P42	0,30	% 62,00	P42	0,30	P42	1,380	% +38,0		
05.	P27	1,36	% 79,70	P41	0,35	% 62,00	P41	0,30	% 62,00	P41	0,30	% 62,00	P41	0,30	% 62,00	P41	0,30	P23	0,30	% 62,00	P23	0,30	P23	1,341	% +34,1		
06.	P29	1,49	% 78,00	P10	0,38	% 59,00	P10	0,32	% 59,50	P10	0,32	% 59,50	P10	0,32	% 59,50	P10	0,32	P41	0,32	% 59,50	P41	0,32	P41	1,286	% +28,6		
07.	P39	1,51	% 77,00	P23	0,41	% 55,00	P23	0,35	% 55,00	P23	0,35	% 55,00	P23	0,35	% 55,00	P23	0,35	P40	0,35	% 55,00	P40	0,35	P40	1,286	% +28,6		
08.	P23	1,76	% 73,60	P12	0,44	% 52,00	P12	0,38	% 52,00	P12	0,38	% 52,00	P12	0,38	% 52,00	P12	0,38	P12	0,38	% 52,00	P12	0,38	P12	1,273	% +27,3		
09.	P20	1,81	% 73,00	P07	0,48	% 47,82	P07	0,48	% 47,82	P07	0,48	% 47,82	P07	0,48	% 47,82	P07	0,48	P07	0,48	% 47,82	P07	0,48	P07	1,111	% +11,1		
10.	P38	1,86	% 72,00	P26	0,54	% 41,30	P26	0,54	% 41,30	P26	0,54	% 41,30	P26	0,54	% 41,30	P26	0,54	P26	0,54	% 41,30	P26	0,54	P26	1,091	% +9,1		
11.	P26	1,95	% 70,10	P27	0,55	% 40,20	P27	0,55	% 40,20	P27	0,55	% 40,20	P27	0,55	% 40,20	P27	0,55	P27	0,55	% 40,20	P27	0,55	P27	0,982	% -1,8		
12.	P19	2,04	% 69,5	P39	0,57	% 38,00	P39	0,57	% 38,00	P39	0,57	% 38,00	P39	0,57	% 38,00	P39	0,57	P39	0,57	% 38,00	P39	0,57	P39	0,968	% -3,20		
13.	P10	3,13	% 53,10	P38	0,62	% 33,00	P38	0,54	% 33,00	P38	0,54	% 33,00	P38	0,54	% 33,00	P38	0,54	P38	0,54	% 33,00	P38	0,54	P38	0,940	% -6,00		
14.	P12	3,13	% 53,10	P19	0,67	% 27,20	P19	0,58	% 27,20	P19	0,58	% 27,20	P19	0,58	% 27,20	P19	0,58	P19	0,58	% 27,20	P19	0,58	P19	0,926	% -7,40		
15.	P09	3,14	% 52,90	P20	0,68	% 26,80	P20	0,58	% 26,80	P20	0,58	% 26,80	P20	0,58	% 26,80	P20	0,58	P20	0,58	% 26,80	P20	0,58	P20	0,908	% -9,20		
16.	P07	3,44	% 48,50	P09	0,76	% 17,40	P09	0,65	% 17,60	P09	0,65	% 17,60	P09	0,65	% 17,60	P09	0,65	P09	0,65	% 17,60	P09	0,65	P09	0,848	% -15,0		
17.	P01	6,68	% 0,00	P01	0,92	% 0,00	P01	0,79	% 0,00	P01	0,79	% 0,00	P01	0,79	% 0,00	P01	0,79	P01	0,79	% 0,00	P01	0,79	P01	0,658	% -34,2		

- Seçici geçirgen cam kullanımı, incelenen örneklerde gerek tek gerekse çok katmanlı uygulamalarda, ısı korunumu, güneş kontrolü ve günışığından yararlanma (Dx değeri) açısından performansı belirgin ölçüde artırmaktadır. Yukarıda belirtilen performansları çok yüksek, ancak ilk yatırım maliyetleri de fazla olan cam kombinasyonlarına göre, maliyeti daha düşüktür. Sağladığı performans ve maliyet açısından avantajlıdır.
- Çift camlı uygulamalarda, güneş kontrolü ve ısı korunumu işlevlerini aynı anda sağlayabilen diğer cam kombinasyonu olan, camlararası tek tabaka ısı aynası (HM88) kullanımına göre, ısı korunumu ve güneş kontrolü açısından daha iyi performans göstermektedir.
- Güneş kontrolü açısından performansı, çift tabakalı örnekler arasında, güneş kontrol camları olarak sıklıkla kullanılan mavi, yeşil renkli camdan yüksek, reflektif cama yakın olup, Dx değerleri açısından her iki örnekten de başarılıdır.
- Reflektif cam güneş kontrolü açısından yeterli olmakla birlikte, Dx değeri açısından çok düşük performans sergilemesi nedeniyle tercih edilmemeli, yerine bu iki performans değeri de yeterli olan cam tipleri olan; seçici geçirgen cam, ısı aynası, mavi veya yeşil renkli camlar seçilmelidir.
- Üç tabakalı düz cam kullanımı yerine, çift tabakalı seçici geçirgen cam veya Low-E cam kullanılmalıdır. Cam seçerken, güneşten ısı kazancı sağlama veya güneş kontrolü amacına göre tercih yapılmalıdır.
- Üç tabakalı uygulamalarda ısı korunumu ve güneş kontrolüne yönelik belirgin performans artışı seçici geçirgen ve/ veya Low-E cam, boşlukta kripton gazı kullanımı ile sağlanmaktadır.

## 8. SONUÇLAR

Çalışmada elde edilen sonuçlara bağlı olarak şu yönlendirmelerde bulunulabilir [3].

Isıtma ve Soğutma Yükleri Farklı Bina Tiplerinde Uygun Pencere Bileşenleri Seçimine Ait Yönlendirmeler:

1- Isıtma yükü ağırlıklı bina:

- Önerilen çerçeve tipi: PVC ve ahşaptır.
- Performans sıralamasına göre önerilen cam tipleri: İklima göre 2 veya 3 katmanlı cam kullanılmalıdır. Çift katmanlı cam için, dışta seçici geçirgen-içte düz cam veya dışta düz cam içte-Low-E cam şeklindedir. Üç katmanlı cam olarak, dışta seçici geçirgen-içteki iki tabaka Low-E camdır. Ek performans artışı için cam tabakaları arasında özellikle kripton veya argon gazı kullanılmalıdır.

2- Soğutma yükü ağırlıklı bina:

- Önerilen çerçeve tipi: PVC, ahşaptır.
- Performans sıralamasına göre önerilen cam tipleri: İç-dış ortam arasındaki ısı transferini azaltmak açısından dışta güneş kontrolü amaçlı cam, içerde ise düz camın kullanıldığı kombinasyonlar önerilir. Çift cam arasında iki tabaka ısı aynası, dışta seçici geçirgen-içte düz cam (Mavi-yeşil renkli cam kullanımının performansı artırması nedeniyle, ısı aynalı cam tipinde dış cam renkli seçilirken, diğer uygulamada seçici geçirgen kaplama renkli cam üstüne uygulanmaktadır), dışta yeşil ve mavi renkte ısı soğutan cam-içte düz cam, çift cam arasında tek tabaka ısı aynası 'dır.

3- Yıllık Isıtma-Soğutma Yükü Eşit ve Yüksek Bina:

- Önerilen çerçeve tipi: PVC, ahşaptır. Çift cam kullanılmalıdır.

- Performans sıralamasına göre önerilen cam tipleri:  $U_o$  değeri düşük ancak, mevsimlik değişimlere adaptasyon yeteneği olan akıllı camlar (fotokromik, elektrokromik, termokromik, holografik camlar) uygundur. Bu camların kullanılmadığı koşullarda yazın güneş kontrolüne önem vererek, kışın güneşten yararlanma düzeyinin düşmesi göze alınır, çift cam (arasında iki tabaka ısı yansıtıcı), dışta seçici geçirgen-içte düz cam, önerilebilir. Cam tabakaları arasındaki boşlukta kripton veya argon gazı kullanımı  $U_o$  'yu daha da düşürecektir. Kışın güneşten ısı kazancı sağlamak önemli ise, yazın aşırı ısınmayı kontrol etmek için dışarıda hareketli güneş kontrol elemanları ve çift cam dışta düz, içte Low-E cam kullanılabilir.

#### 4- Yıllık Isıtma-Soğutma Yüğü Eşit ve Düşük Bina:

- Önerilen çerçeve tipi İklimsel koşulların yumuşaması paralelinde çerçeve seçiminde serbest davranılabilir.
- Performans sıralamasına göre önerilen cam tipleri: İklimsel koşullara göre tek ya da çift katmanlı cam kullanılabilir. Cam seçiminde bu kez binanın içsel ısı kazançlarının düzeyi etkili olacaktır. İçsel ısı kazançları yüksek binalarda seçici geçirgen kaplamalı cam, içsel kazançları düşük binalarda Low-E cam kullanılmalıdır. Tek katmanlı camlarda yüzeyinde seçici geçirgen kaplamalı veya dayanımı yüksek Low-E (hard-pyrolitic) uygulaması yapılmış cam, çift katmanlı camlarda dışta seçici geçirgen-içte düz cam, dışta düz cam-içte Low-E (soft) cam, ısıcam önerilir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE, "Handbook: Fundamentals, Chapter 29, Fenestration", American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta GA, 1997
- [2] ASHRAE, "Handbook: Fundamentals, Chapter 27, Fenestration", American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta GA, 1993
- [3] AYÇAM, İ. "Pencerelerin Isıl Performansının Artırılmasına Yönelik İyileştirme Teknikleri", Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), 1998
- [4] BUTTON, L., PYE, T. "Glass in Building, A Guide to Modern Architectural Glass Performance- Pilkington, Butterwoth Architecture, UK, 1993
- [5] [http://owwww.cecer.army.mil/techreports/DEA\\_NEW/dea\\_new.fle.htm#TopOfPage](http://owwww.cecer.army.mil/techreports/DEA_NEW/dea_new.fle.htm#TopOfPage)
- [6] [http://www.pnl.gov/fta/13\\_glazings/13\\_glazings.htm](http://www.pnl.gov/fta/13_glazings/13_glazings.htm)
- [7] <http://www.efficientwindows.org/fact.sheets.html>

## ÖZGEÇMİŞ

### İdil AYÇAM

İdil AYÇAM, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nden, 1993 yılında lisans ve 1998 yılında yüksek lisans almıştır. 1994 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde asistan olarak göreve başlamıştır. 1999 yılında aynı bölümde Yapı Ana Bilim Dalında doktora çalışmalarına başlamıştır. Fiziksel Çevre Denetimi alanında akademik çalışmalarını sürdürmekte olup, halen Fiziksel Çevre Denetimi I ve II ,Yapı Projesi Studio I ve II derslerinde görev almaktadır.

### Gönül Sancar UTKUTUĞ

Gönül Sancar UTKUTUĞ, ODTÜ Mimarlık Fakültesi'nden 1971'de lisans, 1975'de yüksek lisans almıştır. 1981 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Anabilim Dalı'nda doktorasını tamamlayarak, 1982'de GÜMMF Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na Yrd. Doçent olarak atanmıştır. Araştırma ve çalışmalarını 1985'ten itibaren TÜBİTAK-YAE'de sürdürdü. 1987'de Doçent olan Utkuğ, 1989 yılında, TÜBİTAK Yapı Araştırma Grubu'nun (bu günkü adı ile İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu INTAG) kuruculuğunu ve ilk yürütme sekreterliğini yapmıştır. 1992 yılında GÜMMF Yapı Anabilim Dalı'na Profesör olarak atanan Utkuğ, halen Fiziksel Çevre Denetimi I ve II ,Yapı Projesi Studio I ve II, Bilimsel Araştırma Yöntemleri derslerini vermektedir. CIB, IDRC ve ECE nezdinde araştırma ve workshop çalışmaları yapmış olup, yayınlanmış pekçok uluslararası makale, bildiri ve araştırma raporları yanı sıra yayına hazırlanmakta olan kitapları vardır.